

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

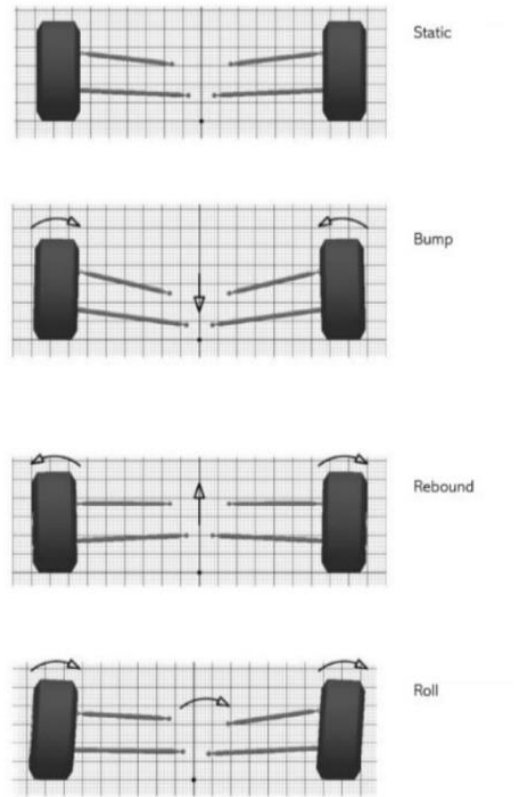
A. Kajian Teori

Tujuan dari merancang sebuah mobil balap adalah pencapaian konfigurasi kendaraan, dapat melintasi *track* dengan waktu yang minimum, mudah dioperasikan oleh pengemudi dan sesuai dengan regulasi yang ada (Miliken,1995:5). FSAE adalah tempat yang baik untuk mengembangkan teknologi. Tidak ada tim FSAE yang memiliki patokan pengetahuan dan penelitian untuk mengembangkan teknologi baru, namun anda bisa berinovasi. Cara untuk melakukannya adalah dengan merancangnya pada setiap *part* dan teknologi yang ada. (Farrington, 2011:44)

Sistem Suspensi Mobil balap, sistem suspensi pada mobil balap memiliki peran yang sangat vital untuk performa kendaraan mobil balap. Peran sistem suspensi secara umum pada mobil balap adalah untuk memastikan *heandling* mobil yang baik disetiap lintasan dan membuat kontak ban terhadap permukaan jalan maksimal disemua kondisi. Sistem suspensi pada mobil balap juga harus dapat membantu *driver* untuk tetap stabil dikendarai sehingga *driver* dapat memprediksi kapan *driver* harus mengambil tikungan, memutar *steering*, dan menginjak pedal gas. Rancangan suspensi yang baik dapat menjaga *chassis* untuk tidak melakukan *roll* terlalu besar dan mempertahankan *traksi* dengan permukaan jalan untuk waktu semaksimal mungkin.

Pada mobil balap mempunyai ciri khas yang bahkan digunakan pada setiap jenis mobil balap termasuk pada mobil formula Garuda *single seat*, yaitu menggunakan jenis mekanisme suspensi *double wishbone*. *Double wishbone* adalah mekanisme suspensi

independent yang memungkinkan setiap roda dapat bereaksi secara individu terhadap permukaan jalan. Design dan rancangan mekanisme suspensi *double wishbone* memiliki bagian *upper arm* dan *lower arm*, bagian inilah yang menyatukan antara roda dengan *chassis*. Dengan adanya *arm* ini dan *spring/damper* yang dipasangkan di kanan dan di kiri membuat roda kanan dan kiri dapat bergerak secara *independent* di lintasan. Rancangan Geometri pada setiap *link arm* ini yang nantinya akan sangat berpengaruh pada *heandling* mobil balap yang akan dibuat. Perubahan kecil pada geometri *link arm* dapat mempengaruhi kinematika roda saat melaju di lintasan. Menurut Seword (62:2014), kinematika gerak pada sistem suspensi *double wishbone* dapat diperhitungkan dengan cara mendesain rancangan *double wishbone* kemudian mensimulasikan kinematika geraknya pada aplikasi simulasi suspensi dan mendapatkan hasilnya, terapat 3 gerakan dasar pada roda yaitu *bump*, *rebound*, dan *opposite/roll* (pada saat mobil balap menikung), tiga gerakan inilah yang menjadi dasar analisis pada geometri suspensi.



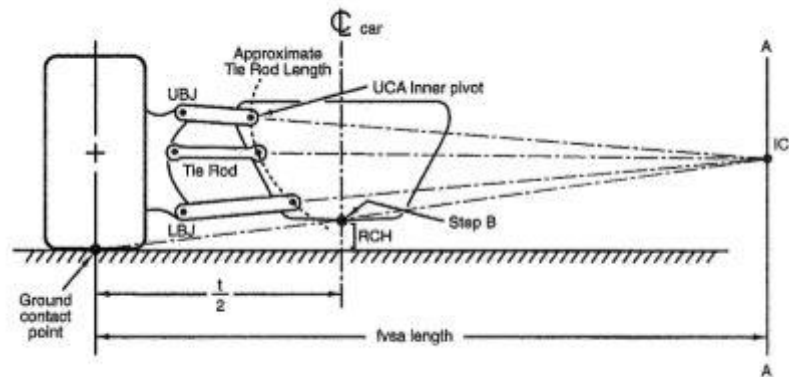
Gambar 3. Kinematika gerak roda dan *chassis* kendaraan (Seward, 2014:63)

1. Merancang suspensi *double wishbone*

Ada beberapa yang harus diperhatikan saat merancang geometri suspensi *double wishbone*. Faktor – faktor dalam merancang suspensi *double wishbone* diantaranya :

a. *Front view Swing Arm Geometry (FVSA)*

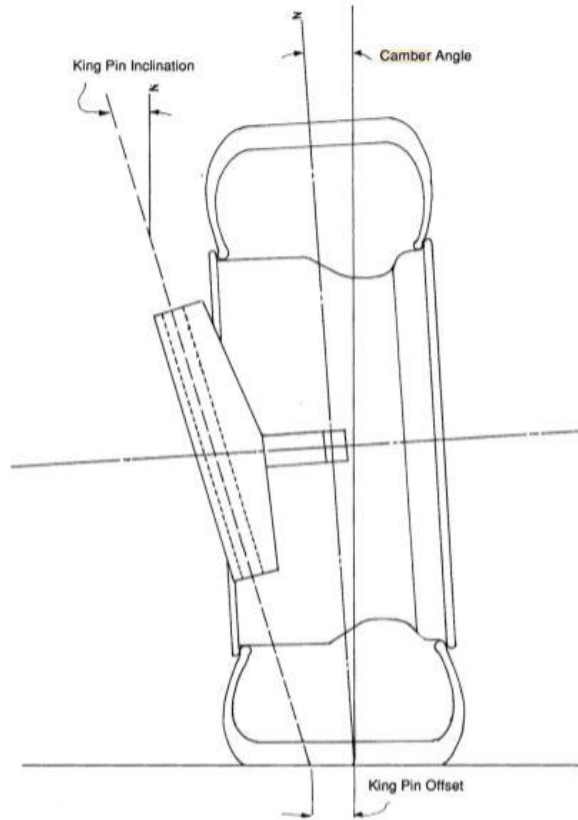
Jika dilihat dari depan maka terdapat variabel geometri suspensi yang dapat mempengaruhi kinematika kendaraan mobil balap diantaranya adalah *camber change rate*, *roll center height (RCH)*, *tire lateral scrub*, *wheel rate*, dan *instantaneous roll center/ swing axle length* dan semua variabel tersebut dapat dirancang dengan cara menentukan geometri *upper A-arm* dan *lower A-arm*.



Gambar 4. *Front view Swing Arm Geometry (FVSA)* (Miliken,1995:628)

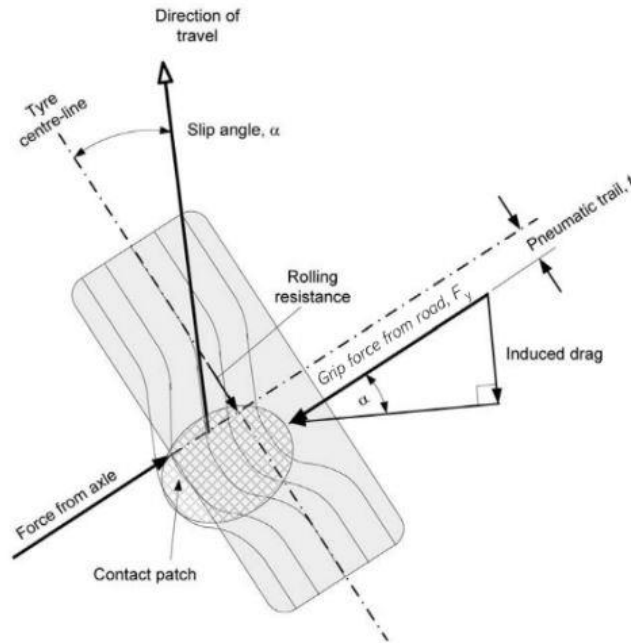
1) *Camber change rate*

Sudut *camber* adalah sudut yang dibentuk dari kemiringan roda terhadap garis vertikal roda. *Camber* dikatakan positif jika bagian atas roda condong keluar dan jika condong kedalam dikatakan *camber negatif* (Miliken,1995:46)



Gambar 5. *Camber angle* (Staniforth, 1988:109)

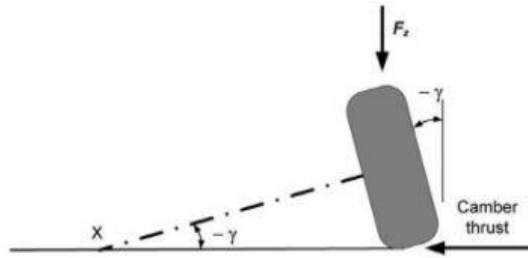
Gaya belok maksimum akan dicapai pada sedikit nilai dari camber negatif. Hal ini dikarenakan *camber thrust* yang disebabkan oleh tegak lurusnya kontak tread ban terhadap permukaan jalan saat mobil mengalami roll ditikungan. Bila camber roda pada kondisi negatif, gaya akan beraksi mengarah ke pusat lengkungan dan menambah gaya belok. Bila camber roda pada kondisi positif, gaya akan bereaksi menjauhi pusat lengkungan dan mengurangi gaya belok. (Smith, 1978:18). *Camber change* yang terlalu besar saat mobil menikung akan menyebabkan *roll steer* dimana keadaan ini akan menyebabkan kondisi liar pada pengemudian keadaan ini dapat dikurangi dengan cara mengurangi perubahan *camber* saat mobil menikung. (Smith, 1978:63).



Gambar 6. Gaya pada roda selama mobil menikung (Seward, 2014:124)

Menurut Seward (128:2014), gambar diatas menunjukkan pentingnya pengaturan *camber* roda untuk tingkat grip pada roda dan konsekuensinya selama *bump in* terjadilah *camber* negatif. Jika roda yang mengalami *camber* dipaksa untuk terus bergerak lurus pada sumbu tengah roda, maka pada permukaan roda yang berhubungan dengan jalan akan terdistorsi dan menimbulkan *lateral force* atau juga dikenal dengan *camber thrust*. *Camber thrust* yang terjadi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Camber thrust} = F_z \times \gamma \quad (\text{rad})$$

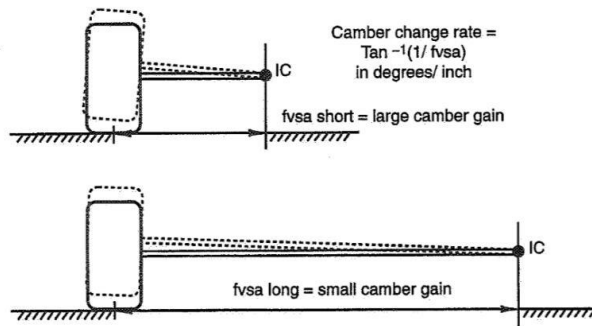


Gambar 7. *Camber thrust* (Seward, 2014:124)

Dilihat dari rumus *camber thrust* dimana nilai *camber thrust* berbanding lurus dengan nilai dari *camber* maka semakin besar nilai *camber* yang terjadi selama mobil membelok akan membuat nilai *camber thrust* semakin besar sehingga mobil akan cenderung *slip* saat mobil dalam keadaan belok.

2) *Instantaneous roll center*

Instantaneous roll center adalah titik perpotongan dari garis penpanjangan *upper arm* dan *lower arm* dari *double wishbone*, dan *swing axle length* (SAL) adalah jarak dari titik ini kembali menuju roda. SAL yang pendek (20" – 40") memberikan posisi *roll center* yang baik, menjaga ban bagian luar tetap vertikal saat menikung tetapi menjadi buruk ketika melakukan akselerasi. SAL yang panjang (70" – 180") memberikan *roll center* yang rendah tetapi susah dikendalikan, menghasilkan sedikit traksi saat membelok, stabilitas yang buruk saat mengalami *positive camber*, namun hanya terjadi perubahan *camber* yang sedikit saat *bump in*. Tidakakan pernah terjadi keadaan yang ideal dalam geometri suspensi pada semua kondisi, maka harus memiliki prioritas utama dalam perancangn. (Staniforth, 1988:180)



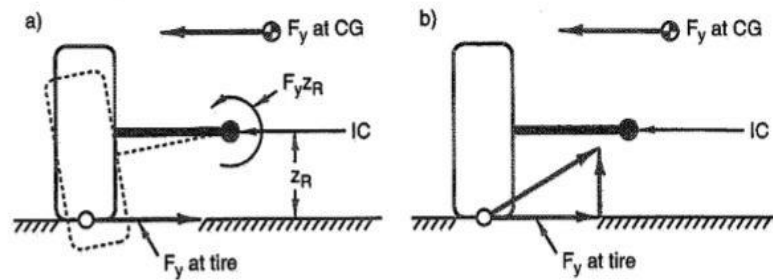
Gambar 8. Pengaruh *short* SAL dan *long* SAL (Miliken,1995:615)

3) Roll center

Roll center diperoleh dari titik perpotongan garis tengah kendaraan dengan garis yang ditarik antara *instantaneous roll center* dan kontak garis tengah roda pada permukaan jalan. Dititik inilah nantinya yang akan meneruskan gaya *lateral* dari roda ke rangka kendaraan. (Smith 1978:30)

Roll center memegang kedudukan sebagai titik pusat dari momen putar antara *sprung mass* dan *unsprung mass*. Ketika mobil menikung gaya sentrifugal pada *center of gravity* bereaksi pada ban. Gaya lateral pada CG dapat disalurkan ke *roll center*. Semakin tinggi posisi *roll center* dari permukaan jalan, maka semakin kecil momen yang dibutuhkan untuk memutar *roll center* (yang artinya beban pada *shock* lebih besar). Semakin rendah posisi *roll center* dari permukaan jalan maka semakin besar momen yang dibutuhkan untuk memutar *roll center*. Namun, ada faktor lain dalam menentukan tinggi dari *roll center*, dan ini adalah efek putar dari posisi horisontal dan vertikal. Jika posisi *roll center* berada dipermukaan tanah, gaya lateral pada roda akan menghasilkan momen dengan pusat sumbu putar pada IC. Momen ini akan

menekan roda kebawah dan mengangkat *suprung mass*, momen ini disebut *jacking force*. (Miliken,1995:614)

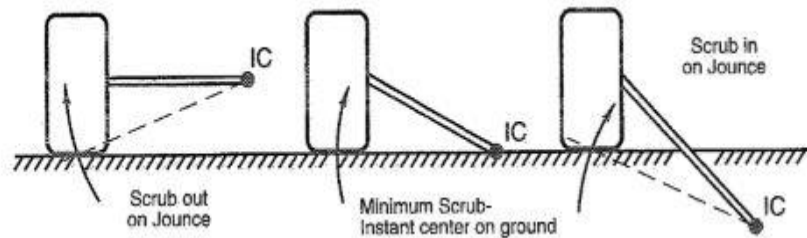


Gambar 9 . Efek *jacking force* (Miliken,1995:615)

Menurut Seward (66:2014), Jika tinggi RC sejajar dengan tinggi CG maka tidak ada momen putar karenanya tidak ada gerakan putar yang diteruskan dari *sprung mass* ke *unsprung mass* pada saat mobil berada ditikungan. Jika tinggi RC diatas tinggi CG maka rangka akan terjadi *rolling* dengan arah yang salah, sebagai contoh rangka kendaraan akan *rolling* kesisi dalam tikungan saat mobil *cornering*. Jika RC berada dibawah CG maka akan mengurangi momen putar dan *chassis roll* saat mobil dalam tikungan. Pada kondisi sebenarnya selama mobil menikung perubahan roll center yang terlalu besar harus dihindari karena akan mengakibatkan kondisi buruk elama mobil menikung yaitu mobil tidak stabil. Meskipun disarankan untuk mengurangi roll dengan menggunakan *roll center* yang tinggi ini dapat menimbulkan masalah baru yaitu, ketika posisi roll center yang tinggi fenomena *jacking* akan meningkat, dimana kondisi ini akan menyebabkan mobil limbung selama mobil menikung.

4) *Scrub*

Variabel lain pada FVSA adalah *tire scrub*. *Scrub* adalah gerakan lateral relatif terhadap permukaan alan yang dihasilkan dari gerakan vertikal roda. *scrub* terjadi disetiap sistem suspensi. Arah dari *scrub* ditentukan dari posisi IC. Jika posisi IC berada di atas permukaan jalan maka pada saat *bump* roda akan bergerak keluar, jika posisi IC berada dibawah permukaan jalan maka pada saat *bump* roda akan bergerak kedalam. (Miliken,1995:616)



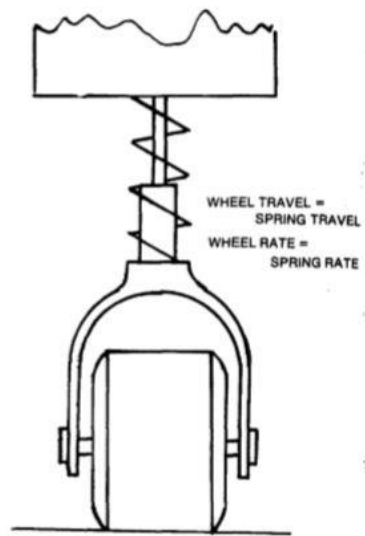
Gambar 10 . Pengaruh posisi IC pada *scrub* (Miliken,1995:615)

Dilihat pada gambar diatas, ketika posisi IC berada diatas permukaan jalan maka saat terjadi *bump* roda akan cenderung keluar yang artinya akan memberikan keuntungan pada rancangan mobil balap dimana pada saat melakukan *cornering*, *camber change* yang terjadi akan cenderung rendah sehingga tapak roda terhadap permukaan akan maksimal dan menghasilkan traksi yang maksimal. Begitujuga sebaliknya, saat posisi IC berada dibawah permukaan jalan maka saat terjadi *bump* roda akan cenderung kedalam yang artinya akan memberikan kerugian pada rancangan mobil balap dimana pada saat melakukan *cornering*, *camber change* yang terjadi akan cenderung banyak

sehingga tapak roda terhadap permukaan akan sedikit dan menghasilkan traksi yang minimal.

5) *Wheel rate*

Jika kita dapat menempatkan suspensi tepat diatas *centerline* roda dan kita dapat memposisikannya vertikal, seperti gambar dibawah maka nilai dari *wheel rate* akan sama dengan nilai dari *spring rate*. Tetapi kita tidak akan bisa mencapai desain seperti ini. *Spring* harus ditempatkan dibagian dalam garis tengah roda. (Smith 1978:64)

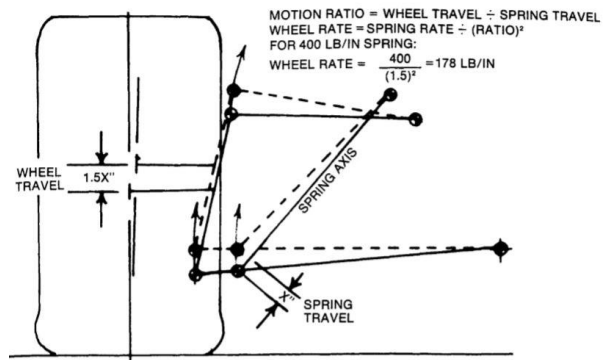


Gambar 11. *Wheel rate* sama dengan *spring rate* (Smith,1978:64)

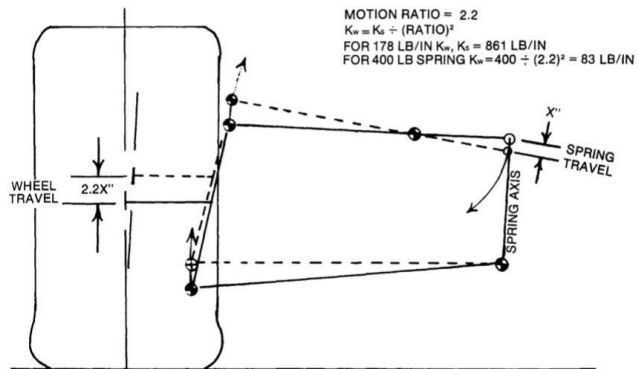
Dalam design kita dapat memilih posisi suspensi. Pertama kita dapat menempatkan diluar. Design ini biasanya digunakan pada design konvensional, dimana *mounting* atas suspensi ditempatkan pada rangka utama dan *mounting* bawah ditempatkan pada lengan bawah *wishbone*. Kedua kita dapat menempatkan suspensi didalam dan dengan cara menjalankannya oleh *rocker*

arm. Kita menginginkan desain dengan *wheel rate* yang tinggi setidaknya mendekati *spring rate* (Smith,1978:64), *wheel rate* yang terjadi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Wheel Rate} = \frac{\text{Spring Rate}}{(\text{Motion Ratio})^2}$$



Gambar 12. Posisi suspensi diluar (Smith,1978:65)

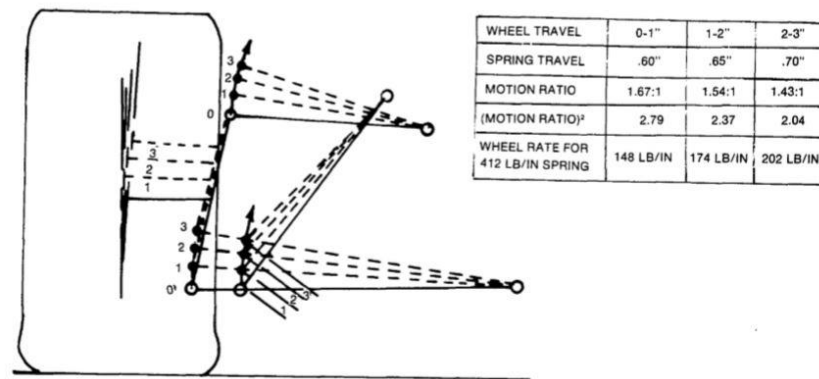


Gambar 13. Posisi suspensi didalam (Smith,1978:65)

Menurut Seward (97:2014), *wheel rate* roda disetiap ujung kendaraan mempengaruhi *roll rate* yang menentukan jumlah perpindahan beban lateral pada setiap ujung kendaraan, yang nantinya akan mempengaruhi

understeer/oversteer pada kendaraan. Namun seringkali roda harus memiliki *roll rate* yang lebih tinggi untuk keseimbangan mobil yang baik.

Ada beberapa cara untuk menaikkan nilai dari *roll rate* diantaranya adalah dengan cara menambah nilai dari *wheel rate*. Gambar dibawah adalah cara untuk menaikkan *wheel rate*.



Gambar 14. Menambah *wheel rate* berdasarkan geometri *spring axis*

(Smith,1978:65)

b. *Side View Swing Arm Geometry (SVSA)*

Side view swing arm geometry (SVSA) adalah control gerakan dan gaya pada saat kendaraan melakukan *akselerasi* dan *deselerasi*. Variabel suspensi geometri yang mempengaruhi saat dilihat dari samping adalah *anti-dive*, *anti-lift*, dan *anti-squat*.

Dive dan *squat* pada dasarnya memiliki konsep yang sama, hanya saja *squat* adalah kebalikan dari *dive*. *Dive* merupakan kondisi dimana bagian ujung depan kendaraan kendaraan menukik kebawah pada saat saat pengereman yang disebabkan oleh transfer berat secara longitudinal dari belakang kedepan kendaraan. Sedangkan *squat* merupakan bagian belakang kendaraan yang tertekan

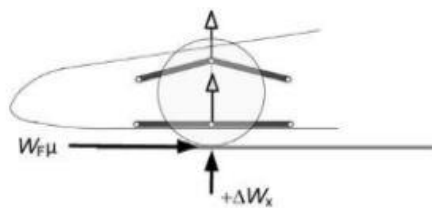
kebawah dikarenakan transfer berat dari depan kebelakang pada kendaraan saat mengalami akselerasi. (Smith, 1978:35)

1) *Anti-dive*

Anti-dive geometri pada rancangan suspensi depan dapat mengurangi keadaan kendaraan menukik kebawah selama pengereman (Miliken,1995:619). Menurut Seward (71:2014), bahwa pengereman menyebabkan beban ditransfer dari belakang ke depan, yang menyebabkan *dive* karena beban tambahan dari belakang kedepan dan membuat bagian belakang mobil terangkat. Pinsip dari *anti-dive* geometri sangatlah sederhana, dimana posisi *mounthing A-arm* depan dilihat dari samping secara horisontal dapat menahan *dive* yang ditimbulkan saat pengereman maksimum.

Rancangan *anti-dive* dapat dibagi tiga diantaranya :

a) *Zero Anti-dive* geometri

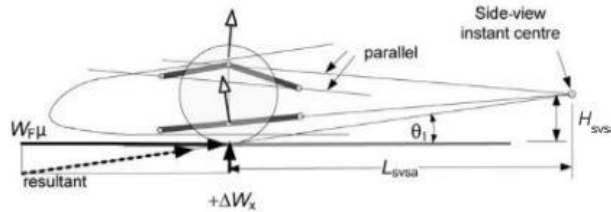


Gambar 15. *Zero Anti-dive* (Seward, 2014:72)

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat jika letak *wishbone pivot* pada *chassis* sejajar dengan permukaan jalan, maka roda dibatasi untuk bergerak vertikal tegak lurus terhadap permukaan jalan. Dalam keadaan ini saat terjadi pengereman tidak akan

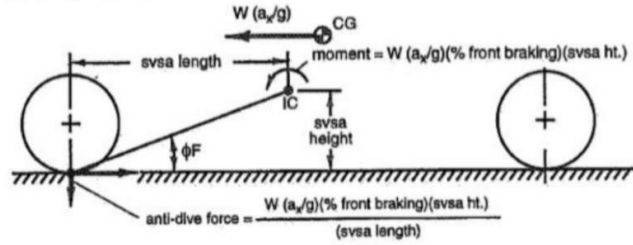
berpengaruh pada suspensi mobil sehingga mobil akan cenderung menukik kebawah saat terjadi pengereman.

b) 100% *Anti-dive* geometri



Gambar 16. 100% *Anti-dive* (Seward, 2014:72)

Berdasarkan gambar diatas *wishbone pivot* pada *chassis* dimiringkan dan tidak sejajar dengan permukaan jalan sehingga jika dari *upper pivot* pada *Uppright* yang garisnya sejajar dengan garis *upper wishbone pivot* pada *chassis* ditarik garis lurus akan bertemu dengan garis *lower wishbone pivot* pada *chassis* . titik bertemunya garis tersebut dinamakan *side view instant center*. Efek dari bertemunya garis tersebut akan menciptakan *side-view swing axle* dengan panjang L_{SVSA} . Pada keadaan normal ketika mobil melakukan pengereman gaya pada pengereman akan bekerja pada roda dan menciptakan momen pada mobil yang menyebabkan mobil menukik kebawah selama pengereman. Dengan adanya rancangan - *anti-dive* seperti pada gambar diatas maka momen untuk memutar mobil pada saat pengereman akan dilawan.



Gambar 17 . momen yang terjadi saat pengereman

(Milliken,1995:617)

Berikut adalah rumus dari rancangan 100% *Anti-dive*:

$$\begin{aligned} \% \text{ anti-dive} &= \frac{F_{F\%} L H_{svsa}}{h_m L_{svsa}} \\ &= \frac{F_{F\%} L \tan \theta_1}{h_m} \end{aligned}$$

$F_{F\%}$ = % of total brake force at front

L = wheelbase

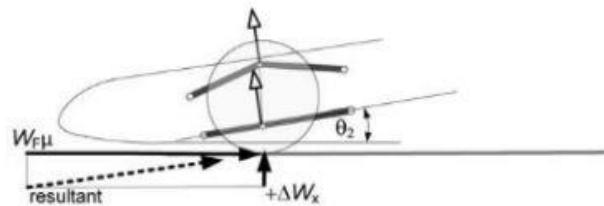
H_{svsa} = height of side-view swing axle

h_m = height of centre of mass

L_{svsa} = length of side-view swing axle

θ_1 = slope from contact patch to side-view instant centre.

c) *Alternative anti-dive* geometri



Gambar 18. *Alternative Anti-dive* (Seward, 2014:72)

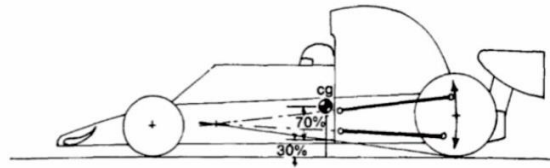
Alternative anti-dive adalah rancangan lain untuk mendapatkan *anti-dive*. 100% *anti-dive* didapatkan ketika sudut *inclination* dari *wishbone pivot* sama dengan sudut dari arah resultan gaya pengereman, ketika sudut yang terjadi kurang dari sudut resultan gaya pengereman maka ini disebut *alternative anti-dive*. Adapun rumus dari *alternative anti-dive* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Slope of resultant} &= \tan^{-1} \frac{\frac{W_f h_m}{L}}{W_f \mu} \\
 &= \tan^{-1} \frac{W h_m}{L W_f} \\
 \% \text{ anti-drive} &= \frac{\tan \theta_2}{\frac{W h_m}{L W_f}} \times 100\% \\
 &= \frac{F_f \% L \tan \theta_2}{h_m} \\
 \theta_2 &= \text{slope between wishbone pivots and ground plane.}
 \end{aligned}$$

2) *Anti-squat*

Anti-squat pada suspensi belakang mengurangi *bump travel* pada roda belakang saat mobil melakukan akselerasi (Miliken,1995:619). Menurut Smith (36:1978), pada bagian belakang kendaraan, masalah yang muncul adalah transfer beban vertikal selama akselerasi menyebabkan mobil mengalami jongkok dan membuat perubahan *camber* negatif pada roda belakang. Masalah ini dapat dicegah dengan rancangan *anti-squat* pada *wishbone* belakang. Rancangan untuk *anti-squat* dengan membuat *wishbone pivot* suspensi belakang pada *chassis* mengarah ke CG. Gambar dibawah adalah gambar

rancangan *anti-squat*. Dalam rancangan *anti-squat* kita akan mencegah gaya kebawah dari transfer beban dengan cara menahan gaya tersebut.

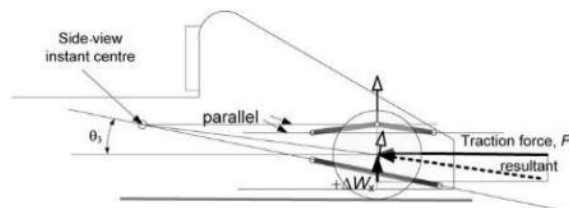


Gambar 19. Rancangan *Anti-squat*(Smith, 1978:35)

Menurut Seward (74:2014), *anti-squat* dan *anti-dive* memiliki prinsip yang sama namun *anti-squat* memiliki peran yang lebih penting. Rancangan *anti-squat* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

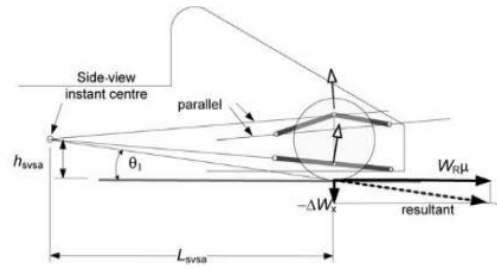
$$\% \text{ anti-squat} = \frac{L \tan \theta_3}{h_m} \times 100$$

θ_3 = slope from wheel centre to side-view instant centre



Gambar 20. 100% *Anti-squat* (Seward, 2014:72)

3) *Anti-lift*



Gambar 21. *Anti-lift* (Seward, 2014:72)

Menurut Seward (73:2014), pada bagian belakang mobil saat perpindahan beban longitudinal terjadi maka akan membuat beban vertikal pada roda belakang berkurang sehingga roda belakang kendaraan terangkat. Gambaran diatas adalah rancangan dari *anti-lift*, dan berikut adalah rumus dari *anti-lift*.

$$\% \text{ anti-lift} = \frac{F_{R\%} L \tan \theta_2}{h_m}$$

4) *Roll Axis*

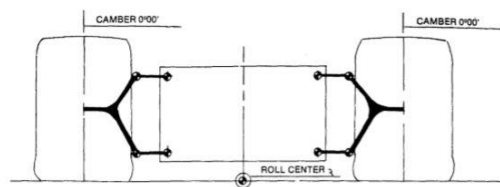
Menurut Seward (73:2014), *roll axis* adalah pertemuan antara kedua *roll center* depan dengan *roll center* belakang. Beberapa *designer* percaya posisi terbaik dari *roll axis* adalah cenderung lurus sehingga *roll* yang terjadi didepan dan dibelakang sama. Jarak *roll axis* dengan CG kendaraan harus dikurangi sehingga dapat mengurangi kebutuhan *chassis* mentransmisikan beban puntir, dan juga untuk mendapatkan keseimbangan *heandling* kendaraan yang baik.

c. Konfigurasi geometri suspensi tipe *double wishbone*

Double wishbone memiliki beberapa konfigurasi geometri yang berbeda yang dapat digunakan untuk merubah karakteristik *handling* yang dibutuhkan. konfigurasi tersebut dibagi menjadi beberapa jenis. Berikut adalah macam-macam suspensi tipe *double wishbone*:

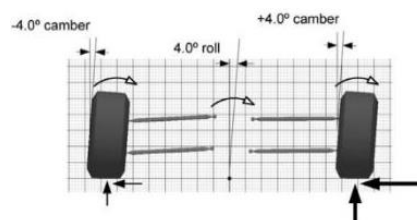
1) *Parallel equal-length double wishbone*

Menurut Smith (47:1978), tipe suspensi ini *upper* dan *lower linkage* dibuat sama panjang dan disusun secara sejajar. Tidak ada perubahan *camber* yang terjadi saat mobil *bump* dan *rebound*. Ketika mobil mengalami *roll*, *camber* roda sisi luar akan mengalami *camber* negatif dan roda sisi dalam *camber* positif.

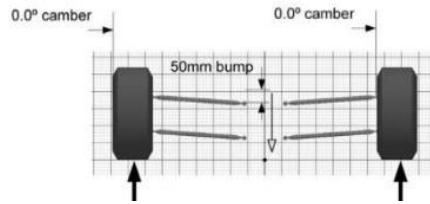


Gambar 22. *parallel equal-length system* (Smith, 1978:51)

Menurut Seword (63:2014), untuk mengetahui apa pengaruh dari *wishbone parallel equal-length* maka akan dianalisis dengan dua gerakan yaitu *bump* dan *roll*. Berikut analisis yang dilakukan dengan *bump* 50 mm dan *roll* 4° pada *wishbone parallel equal-length*:



Gambar 23. *Parallel equal-length* saat roll (Seward, 2014:64)



Gambar 24. *Parallel equal-length* saat bump (Seward, 2014:64)

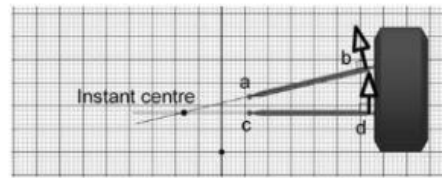
Pada gambar dapat dilihat tidak terjadi perubahan *camber* saat *rebound* dan *bump*. Ada beberapa yang harus diperhatikan oleh *designer* pada saat *wishbone Parallel equal-length* saat roll:

- a) Menggunakan *spring rate* yang tinggi atau menggunakan *anti-roll bar* untuk mengurangi jumlah *roll* karena menghasilkan perubahan *camber* yang besar.
- b) Tambahkan nilai *camber* pada saat mobil statis. Pada gambar diatas saat mobil mengalami *roll* 4 deg, *camber* yang terjadi sudah -4 deg namun masalahnya roda dalam nantinya akan mengalami *camber* positif yang lebih banyak sehingga mengakibatkan ausnya sebagian roda.

2) *Converging equal-length double wishbone*

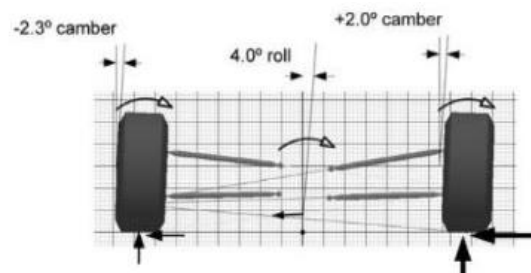
Tipe suspensi ini memiliki *upper* dan *lower wishbone linkage* yang sama panjang dan tidak disusun secara sejajar. Menurut Seward (63:2014), gambar dibawah menunjukkan *single wheel* dengan *converging equal-length wishbone*. Dimulai dengan mempertimbangkan *chassis* yang harus diperbaiki dan roda naik saat *bump* terjadi. Jelas bahwa pada saat roda melewati tonjolan *wishbone*

atas akan berporos pada titik a dan menyebabkan titik b bergerak, yang ditunjukkan oleh anak panah. Demikian juga titik d akan akan bergerak tegak lurus dengan poros titik c. Ini berarti pergerakan roda relatif terhadap *chassis* dengan pusat pada titik persimpangan yang diproyeksikan *wishbone*. Pada rancangan ini menciptakan IC, RC, dan *swing arm length*.

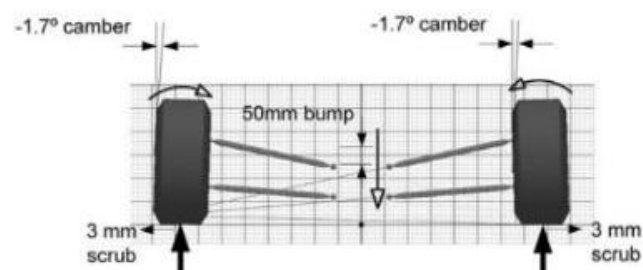


Gambar 25. *Converging equal-length double wishbone* (Seward, 2014:66)

Selanjutnya pada sistem ini akan dianalisis dengan 50mm *bump* dan 4° *roll*, tinggi *static roll center* 80mm dan panjang *swing arm length* 1,65 m.



Gambar 26. *Converging equal-length double wishbone roll* (Seward, 2014:68)

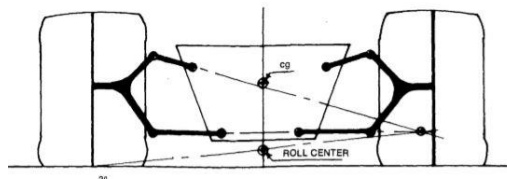


Gambar 27. *Converging equal-length double wishbone bump* (Seward, 2014:68)

Dapat dilihat pada gambar saat dianalisis dengan *roll* 4 deg hanya menghasilkan perubahan *camber* sekitar 2 deg, dimana hasil ini setengah dari hasil *Parallel equal-length* saat *bump* dengan nilai *bump* yang sama. Pada gambar selanjutnya pada saat *bump* 50 mm, perubahan *camber* yang terjadi sekarang -1.7 deg pada kedua roda. kita dapat mengambil kesimpulan bahwa jika dibandingkan dengan *parallel equal-length*, *converging equal-length* menghasilkan *camber* yang lebih baik pada saat *roll* namun menghasilkan *camber* yang tidak baik saat *bump*.

3) *Converging unequal-length / unequal-length and non parallel arm*

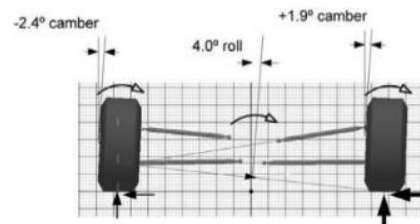
Tipe suspensi ini memiliki *upper* dan *lower wishbone linkage* yang tidak sama panjang dan tidak disusun secara sejajar. Menurut Smith (54:1978), sistem suspensi *unequal-length and non parallel arm* dapat mengurangi perubahan *camber* positif pada saat kendaraan *roll* dan menghasilkan posisi *roll center* yang rendah.



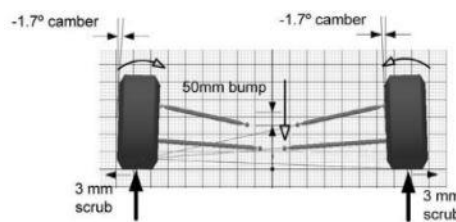
Gambar 28. *unequal-length and non parallel arm* (Smith, 1978:55)

Selanjutnya akan dianalisis dengan cara seperti sebelumnya. Dengan tinggi RC 80 mm dan *swing arm length* 1,65 m. *Upper wishbone* lebih pendek

dan *lower wishbone* lebih panjang jadi *Upper wishbone* 80% dari *lower wishbone*.



Gambar 29. *Converging unequal-length double wishbone roll* (Seward, 2014:69)



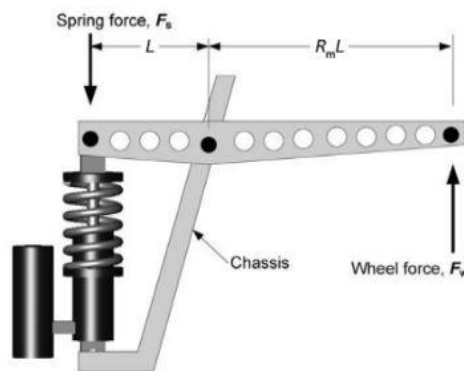
Gambar 30. *Converging unequal-length double wishbone bump* (Seward, 2014:69)

Dapat dilihat dari gambar diatas pergerakan *roll center* vertikal berkurang 1mm dan 14mm *roll center* horizontal. Jadi dapat ditarik kesimpulan keunggulan utama dari *Converging unequal-length double wishbone* dapat mengurangi pergerakan *roll center*. Jika suspensi ini digunakan, disarankan untuk menempatkan *static camber* -2 deg untuk memastikan berat beban roda luar tidak akan menghasilkan *camber* positif.

d. *Motion Ratio Bell-crank*

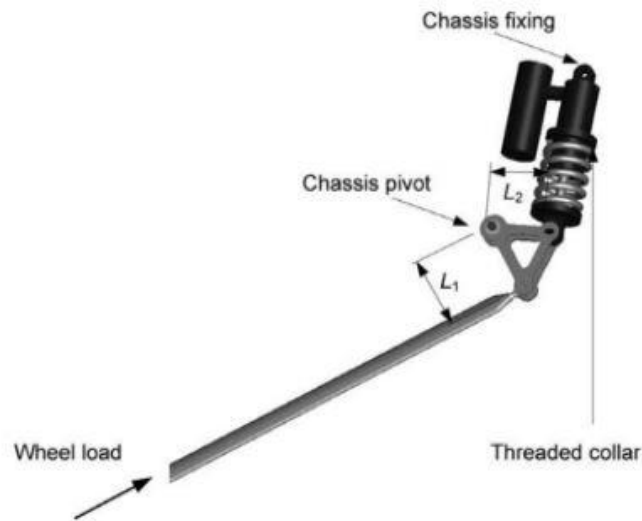
Geometri suspensi selanjutnya adalah *rocker-arm* atau *bell-crank* yang digunakan pada sistem *double wishbone*. Fungsi dari komponen *bell-crank*

diguakan untuk meneruskan gaya dari roda menuju pegas suspensi. Proporsional dari pergerakan roda saat *bump* yang diteruskan pada pegas suspensi disebut *motion ratio*. *Motion Ratio Bell-crank* nantinya akan menentukan berapa *wheel travel* pada saat *bump* yang akan diteruskan pada pegas.



Gambar 31. *Rocker arm suspension* (Seward, 2014:101)

Menurut Seward (101:2014), dapat dilihat pada keadaan ini panjang lengan *rocker* adalah L dan panjang lainnya adalah $R_m L$, dimana R_m adalah *motion ratio*. Dapat diambil contoh sebagai berikut, jika *spring* bergerak dengan menghasilkan *travel spring* “ d ” maka roda akan bergerak dengan *travel* “ $R_m d$ ”. Jika nilai dari *motion ratio* lebih dari satu maka pergerakan *wheel travel* akan lebih besar dari pada pergerakan *travel spring*. Keunggulan menggunakan *pushrod* maupun *pullrod* adalah pegas/peredam dapat tertutup dapat tertutup didalam *bodywork*. Point dalam *pushrod* dan *pullrod* harus diperhatikan, gambar 27 merupakan *bell-crank* dalam model *pushrod*.



Gambar 32. Pengaturan *bell-crank* pada tipe *pushrod* (Seward, 2014:102)

Rumus dari *motion ratio bellcrank* R_m sebagai berikut:

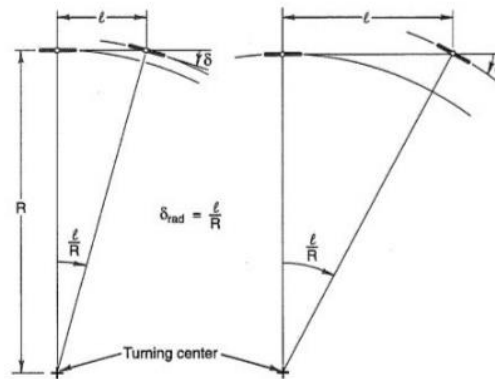
$$R_m = L_1/L_2$$

e. *Wheelbase* dan *width track*

Wheelbase merupakan jarak antara sumbu roda depan dan sumbu roda belakang dan *width track* adalah jarak antara sumbu roda kanan dan sumbu roda kiri. Karakteristik *wheelbase* diantaranya sebagai berikut:

- 1) *Wheelbase* yang lebih pendek akan meningkatkan kemampuan *manuver* mobil karena hanya membutuhkan sudut belok yang lebih kecil dan *steering effort* yang kecil, Seperti yang ditunjukkan gambar dibawah. Sedangkan kelemahan dari *wheelbase* yang pendek yaitu perpindahan berat antara roda depan dan belakang lebih besar selama akselerasi maupun pengereman

dibandingkan dengan kendaraan yang memiliki *wheelbase* yang lebih panjang.
(Milliken, 1995: 129)



Gambar 33.

Perbedaan sudut yang dihasilkan *wheelbase* pendek dengan *wheelbase* panjang saat membelok
(Milliken, 1995: 128)

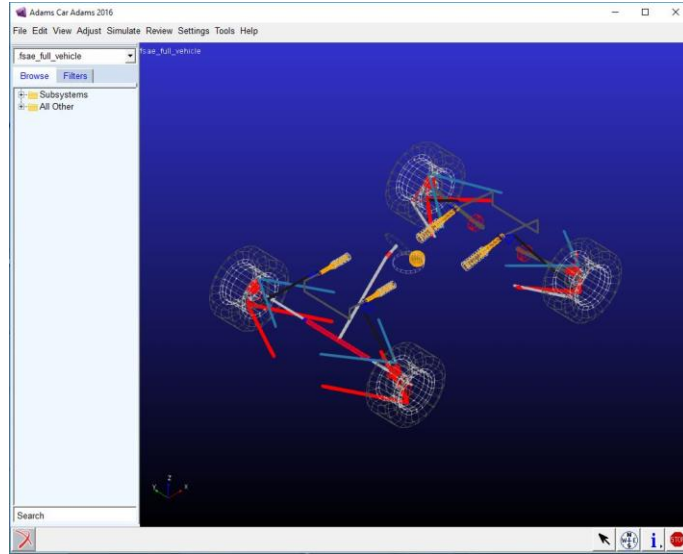
- 2) *Wheelbase* yang lebih pendek memiliki keuntungan mengurangi efek perpindahan berat antara roda depan dan belakang selama akselerasi maupun pengereman, memperbaiki kestabilan saat melaju lurus, dan mengurangi *pitching moment*. Kelemahannya adalah kemampuan manuver lebih rendah dibandingkan mobil dengan *wheelbase* pendek, karena membutuhkan sudut belok yang besar dengan radius belok yang sama. (Smith, 1978: 31)

Menurut Seword (63:2014), FSAE/*Formula Student* menyajikan kasus khusus berupa *wheelbase* dan *widthtrack* yang digunakan. Sirkuit yang sempit dan memutar membutuhkan mobil yang ringan dan gesit. Pengalaman menunjukkan bahwa performa mobil terbaik dengan *wheelbase* antara 1,5 – 1,7 m dan *widthtrack* sekitar 1,2m.

2. Adams Car Suspension Analysis

Adams car adalah software *real dynamics* untuk desain dan pengujian kendaraan. Dengan software Adams car *engineering teams* dapat dengan cepat membangun dan menguji prototipe fungsional kendaraan. *Engineering teams* dapat menggunakan desain suspensi geometri kendaraannya dan diuji dengan berbagai kondisi jalan, seperti pada saat mobil mengalami *cornering* , akselerasi dan deselerasi. Dengan menganalisis suspensi geometri menggunakan Adams car dapat mencoba bergai variabel suspensi sehingga mendapatkan hasil yang diinginkan. Keunggulan menggunakan Adams car suspensi diantaranya adalah dapat menganalisis suspensi geometri dengan cepat dan akurat, mudah digunakan, dapat membuat atau meng-*import* komponen geometri menjadi 3D model, memiliki *library* sambungan untuk menentukan gerak suatu part, hasil linier dan nonlinier yang komprehensif untuk desain yang rumit, dan dapat dengan mudah melakukan pengujian secara berulang-ulang untuk memastikan pengaruh dari penelitian.

Pengujian dilakukan dengan memasukan desain dari solidworks ke Adams car dan melihat hasil yang diperoleh, hasil yang didapat dengan menggunakan software adams car berupa grafik. Hasil yang didapat dengan menguji menggunakan adams car sangat lengkap sehingga memudahkan untuk menemukan data dari prototipe mobil yang akan dibangun. Pengujian yang dilakukan dengan *opposite travel* yang mencerminkan kondisi mobil saat *cornering* dan *parallel travel* yang mencerminkan mobil saat akselerasi maupun deselerasi. Berikut adalah gambar dari aplikasi adams car suspension:



Gambar 34. Software Adams car

B. Penelitian yang Relevan

Berikut penelitian relevan yang memperkuat kajian teori yang telah dipaparkan:

1. Penelitian yang dilakukan Theander pada tahun 2004 tentang "*Design of a Suspension for a Formula Student Race Car*" yang didalam hasil penelitiannya menunjukan sebagai berikut:
 - a. *Wheelbase* yang akan dirancang sebisa mungkin pendek karena akan membuat respon *steering* pada mobil balap bagus. *Wheelbase* yang pendek akan membuat kondisi *steering* yang tidak stabil pada kecepatan tinggi, tapi untuk kecepatan rata-rata 45 km/jam keadaan ini tidak menimbulkan masalah.
 - b. Memiliki *trackwidth* yang lebar akan memberikan keuntungan mengurangi *roll moment* yang terjadi.
 - c. Semua parameter geometri suspensi yang digunakan dalam penelitian mempengaruhi perubahan *camber*.

- d. Menambahkan *anti-dive* pada suspensi depan sekitar 50% akan mengurangi perubahan *camber* sekitar 0,05 deg, menambah perubahan lateral *roll center* 80mm setiap satu derajat *roll movement*, dan akan menambah *roll steer* 0,02 setiap satu derajat *roll movement*.
2. Penelitian yang dilakukan Amir Afkar, Mehdi Mahmoodi Kaleibar, dan Amin Paykani pada tahun 2012 tentang “*Geometry optimization of double wishbone suspension system via genetic algorithm for handling improvement*” menunjukkan bahwa dengan mengoptimalkan parameter geometris dalam suspensi kendaraan memiliki efek yang besar pada kenyamanan, *handling*, stabilitas dan pencegahan *rollover* kendaraan selama manuver dengan kecepatan tinggi.

C. Kerangka Pikir

Sistem suspensi merupakan sistem yang memegang peranan penting didalam sebuah kendaraan. Dengan memiliki sistem suspensi yang baik maka kendaraan dapat melaju disetiap lintasan dengan stabil. Tugas utama sistem suspensi dalam perlombaan *Student Formula Japan* adalah untuk memudahkan *driver* mengoptimalkan kendaraan saat melaju dengan cepat di lintasan belok maupun akselerasi, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu lintasan dapat seminimal mungkin. Oleh karena itu berdasarkan kajian teori yang telah dipaparkan dapat disimpulkan bahwa sistem suspensi pada mobil balap *Formula Student Japan* harus memiliki kriteria sebagai berikut:

1. Memiliki *camber change* yang rendah sehingga akan menghasilkan sedikit *roll steer*

2. Merancang *roll center* dengan tinggi dibawah CG dan serendah mungkin namun tetap diatas permukaan jalan, sehingga dapat mengurangi *chassis roll* dan mengurangi *lateral force* pada saat mobil dalam tikungan
3. Posisi IC berada diatas permukaan jalan maka saat terjadi *bump* roda akan cenderung keluar yang artinya akan memberikan keuntungan pada rancangan mobil balap dimana pada saat melakukan *cornering*, *camber change* yang terjadi akan cenderung rendah sehingga tapak roda terhadap permukaan akan maksimal dan menghasilkan traksi yang maksimal
4. Menurunkan nilai *Wheel rate* sehingga mobil tidak mengalam *understeer*
5. Rancangan suspensi depan mobil harus memiliki *anti-dive* untuk mencegah mobil menukik kebawah saat pengereman
6. Mengurangi *roll steer* dan *toe angle change* sehingga mobil dapat stabil selama membelok
7. Rancangan suspensi belakang mobil harus memiliki *anti-squat* untuk mencegah mobil jongkok saat melakukan akselerasi
8. Merancang dengan tipe suspensi *double wishbone unequal-length and non parallel arm* sehingga mobil formula dapat mengurangi perubahan *camber* positif pada saat *roll movement* dan dapat menghasilkan posisi *roll center* yang rendah
9. Merancang *wheelbase* sependek mungkin yang membuat mobil memiliki sudut belok yang lebih kecil sehingga reaksi *steering* yang dihasilkan baik.

D. Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan kerangka pikir yang telah dipaparkan, maka menimbulkan pertanyaan sebagai berikut:

1. Apakah dapat merancang suspensi geometri FG18 yang menghasilkan *camber change*, perpindahan vertikal *roll center*, *dive-breaking*, *squat-acceleration*, *roll steer* dan *wheel rate* yang lebih rendah dari rancangan susoensi geometri FG17, sehingga mobil Formula Garuda 18 dapat melewati lintasan dengan waktu yang lebih singkat dan kecepatan yang lebih tinggi.